مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية
المجلد42 العدد (3) – 2026: 1-12

Damascus University Journal for engineering sciences
Vo 42 number (3) -2026: 1-12

دراسة تحليلية لتقنيتي الوصول المتعدد المتعامد وغير المتعامد في سيناريو نشر 2 و4 مستخدمين لنظام اتصالات ثلاثي الخلايا.

علي وهبي[*1] عبد الكريم السالم[2]

[*1] طالب دكتوراه–مهندس، قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات–كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة البعث.
AliWahby@Al-Baathuniversity.edu.sy

[2] أستاذ، دكتور – قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة البعث.
AbdulkareemAssalem@Al-Baathuniversity.edu.sy.

الملخص:

إن تزايد كثافة الاتصالات مع نمو الطلبات للخدمات المختلفة والتطبيقات العطشة للبيانات بحاجة الى تقنيات وصول راديوية أكثر فعالية من أجل التنفيذ الكامل للأنظمة اللاسلكية من الجيل الخامس 5G خصوصا من ناحية توفير الاستطاعة.

تسمح طرق الوصول المتعددة المختلفة في الاتصالات اللاسلكية لطرفيات متعددة بمشاركة الوسط اللاسلكي حيث يمكن أن تكون إما متعامدة أو غير متعامدة.

في نمط الوصول المتعدد المتعامد OMA، يكون تخصيص القناة بين المحطات متعامدًا (إما عن طريق الوقت أو التردد أو المكان أو الرمز) ويتم ذلك لتجنب التداخل بين المحطات اللاسلكية، ومع ذلك، فإنه يقلل من الأداء كون عدد الاتصالات المتزامنة محدود بموارد القناة المتعامدة.

لذلك تم اقتراح طريقة الوصول المتعدد غير المتعامد NOMA كتقنية وصول في شبكات الجيل الخامس الخلوية لتقليل الفجوة الكبيرة بينها سعة الشبكة وحركة المرور المتصاعدة بسرعة، حيث تمكّن تقنية NOMA من تخصيص نفس المورد الترددي في وقت واحد للعديد من المستخدمين داخل الخلية من خلال توظيف مفهوم تخصيص الاستطاعة وهذا يؤمن إمكانات كبيرة في تحسين أداء الشبكة.

في هذا البحث تم تقديم دراسة تحليلية لتقنيتي OMA و NOMA في سيناريو نشر 2 و 4 مستخدمين لنظام اتصالات ثلاثي الخلايا من ناحية متوسط سعة القناة بالنسبة الى عدد الخلايا – متوسط سعة القناة بالنسبة لاستطاعة الإرسال – سعة طرفية المستخدمين بالنسبة لاستطاعة الإرسال باستخدام برنامج MATLAB واستخراج النتائج من عملية المحاكاة ومناقشتها.

الكلمات المفتاحية: الوصول المتعدد غير المتعامد، الوصول المتعدد المتعامد، الغاء التداخل المتتابع، تخصيص الاستطاعة، موارد.

تاريخ الإيداع: 2023/9/7
تاريخ القبول: 2024/3/12

حقوق النشر: جامعة دمشق –سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب CC BY-NC-SA

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index
ISSN (online): 2789-6854

Analytical study of orthogonal and non-orthogonal multiple access technologies in a deployment scenario of 2 and 4 users of a three-cell communication system

Ali Wahby[*1] Abdulkareem Assalem[2]

[*1.] Graduate student (Ph.D) – Eng, Department of Electronics and Communication Engineering – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Al-Baath University. AliWahby@Al-Baathuniversity.edu.sy

[2.] Professor - Department of Electronics and Communication Engineering – Faculty of Mechanical and Electrical Engineering – Al-Baath University. AbdulkareemAssalem@Al-Baathuniversity.edu.sy.

Received: 7/9/2023
Accepted: 12/3/2024

Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

ABSTRACT:

The increasing density of communications with the growth of requests for various services and data-hungry applications need more effective radio access techniques in order to fully implement 5G wireless systems, especially in terms of providing capacity.

Multiple access methods in wireless communication allow multiple terminals to share the wireless medium, which can be either orthogonal or non-orthogonal.

In OMA mode, the channel assignment between stations is orthogonal (either by time, frequency, location, or code) and is done to avoid interference between wireless stations, however, , It reduces performance because the number of simultaneous connections is limited by the orthogonal channel resources.

Therefore, the NOMA non-orthogonal multiple access method was proposed as an access technology for fifth generation cellular networks to reduce the large gap between network capacity and rapidly rising traffic, as NOMA technology enables allocating the same frequency resource simultaneously to many users within the cell by employing the concept of capacity allocation and this Provides great potential in improving network performance.

In this research, an analytical study of OMA and NOMA techniques was presented in a deployment scenario of 2 and 4 users of a three-cell communication system in terms of the average channel capacity in relation to the number of cells - the average channel capacity in relation to the transmission capacity - the users terminal capacity in relation to the transmission capacity using MATLAB program and extracting the results simulation process and discussion.

Keywords: NOMA ،OMA, SIC, Power Allocation, resources.

المقدمة:

إن التطور السريع للاتصالات الخليوية و إنترنت الأشياء (IoT) أدى إلى متطلبات جديدة لشبكات الجيل الخامس (5G) من أنظمة الاتصالات اللاسلكية ، حيث تشير التنبؤات الى زيادة حركة البيانات بمقدار 1000 ضعف بحلول عام 2022. على وجه التحديد ، يمكن تلخيص مؤشرات الأداء (KPI) المدعومة لحلول 5G على النحو التالي:

1) الكفاءة الطيفية: من المتوقع أن تزيد بمعامل من 5 إلى 15 مقارنة بـ 4G.

2) كثافة الاتصال: أعلى بعشر مرات من 4G لتلبية متطلبات الاتصال الهائل لإنترنت الأشياء.

على مدى العقود القليلة الماضية ، شهدت نظم الاتصال اللاسلكي ثورة من حيث تقنيات الوصول المتعدد.

تم في أجيال الاتصالات الخليوية 1G و 2G و 3G و 4G استخدام النفاذ المتعدد بتقسيم التردد(FDMA) ، والنفاذ المتعدد بالتقسيم الزمني (TDMA) ، والنفاذ المتعدد بتقسيم الكود (CDMA) ، النفاذ متعدد بتقسيم التردد المتعامد (OFDMA).

من الناحية النظرية ، لا تواجه الأنظمة المستندة إلى OMA تداخلات بين المستخدمين بسبب تخصيص الموارد المتعامد ، وبالتالي يمكن للمستقبِلات أن تكون منخفضة التعقيد والتي تستخدم للكشف عن إشارة المستخدم المطلوب.

ومع ذلك ، فإن الموارد محدودة ولا يمكن لأنظمة OMA أن تخدم عددًا كبيرًا من المستخدمين وفقًا لما تقترحه شبكات الجيل القادم 5G.

على عكس OMA ، يسمح الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA) بالتداخل بين المستخدمين وبالتالي يمكن استخدام الموارد نفسها لعدة مستخدمين وتوظيف إلغاء التداخل المتتالي SIC لإلغاء التداخل [ISLAM et al,2019,1-2] .

الهدف من هذه الدراسة التحليلية هو تحليل أداء تقنية الوصول المتعدد غير المتعامد NOMA

ومقارنة أدائها مع تقنية الوصول المتعامد OMA في سيناريو نشر 2 و4 مستخدمين لنظام اتصالات ثلاثي الخلايا.

ولمحاولة الإحاطة بحيثيات المسألة قدر الإمكان تم اتباع التسلسل التالي في هذا البحث:

متطلبات شبكات الجيل الخامس.

استخدامات شبكات الجيل الخامس.

دراسة مرجعية لتقنيات النفاذ المتعدد غير المتعامدة.

تقديم الدراسة المرجعية والنمذجة الرياضية لتقنيتي OMA و NOMA لتخديم أربع مستخدمين.

محاكاة تقنيتي OMA, NOMA في سيناريو نشر 2 مستخدم باستخدام برمجيات MATLAB.

محاكاة تقنيتي OMA, NOMA في سيناريو نشر 4 مستخدم باستخدام برمجيات MATLAB.

مناقشة النتائج النهائية التي تم الحصول عليها باعتماد برمجيات المحاكاة.

1-1 متطلبات شبكات الجيل الخامس:

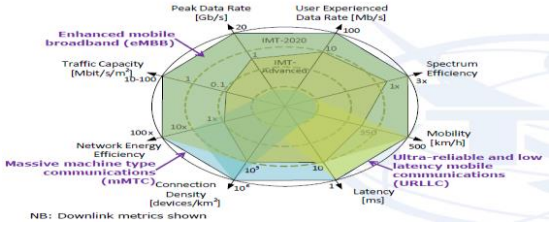
تم توصيف الأهداف المستقبلية لشبكات الجيل الخامس في الوثيقة ITU-R M.2083-0 [AVCANS et al, 2017,70]، واعتمدت الميزات الجديدة على 8 محددات لتوصيف الأداء وارتبطت هذه المحددات ارتباطا وثيقا بـ نوع التطبيق كما هو الحال بالنسبة للتطبيقات ذات المهمة الحرجة Mission Critical والتي تحتاج الى تأخير منخفض جدا من رتبة ms ومعدلات نقل عالية تصل الى 10-20 Gbps.

ستشمل التطبيقات أيضا خدمة انترنت الأشياء Internet Of Things (IoT) واتصال آلة الى آلة Machine to Machine (M2M) والتي ستصل أعداد هائلة من الأجهزة الذكية

http://journal.damascusuniversity.edu.sy/index.php/index/index
ISSN (online): 2789-6854

والطرفيات مع بعضها آليا دون تدخل العنصر البشري بالإضافة الى الاتصال إنسان–آلة Human-Machine.

يعبر الشكل (1) عن المتطلبات التي سيلبيها IMT 2020:



الشكل(1) متطلبات IMT 2020

[GARUGI et al, 2020, 3]

معظم مستخدمو الشبكات اللاسلكية يمضون حوالي 80٪ من وقتهم في الداخل indoor و 20٪ في الهواء الطلق outdoor . وفقًا للهندسة الخلوية اللاسلكية المعاصرة ، فإن محطة قاعدة خارجية في مركز الخلية ستدعم اتصال المستخدم الخارجي والداخلي. نتيجة لذلك، فإنه سيتم نقل الإشارات حول الجدران الداخلية مما ينتج السماح بالتفاعل بين المستخدمين الداخليين والخارجيين. كنتيجة لذلك، تحدث خسارة اختراق كبيرة، مما يؤدي إلى انخفاض في الأداء بسبب انخفاض فعالية الطيف وفعالية الطاقة للاتصالات اللاسلكية.

لمواجهة هذا التحدي، تم تطوير سيناريوهات تصميم جديدة للمعمارية الخلوية 5G لمختلف الأماكن الخارجية والداخلية.

تقنية MIMO الهائلة الذي يسمح بالتوزيع الجغرافي

من عشرات أو مئات من الهوائيات وهو أحد التصميمات الاستراتيجية التي من شأنها أن تحد من الاختراق من خلال داخل الجدران. بدلاً من أنظمة MIMO التقليدية التي تستخدم هوائيان أو أربعة هوائيات ، تستخدم أنظمة MIMO الضخمة مصفوفة كبيرة من الهوائيات التي توفر سعة كبيرة.

من أجل التغطية الداخلية، تم استخدام تقنيات متعددة مثل اتصال الموجة المليمترية، الخلايا الصغيرة small cells، Wi-Fi، النطاق العريض الفائق واتصالات الضوء المرئي مناسبة للاتصالات قصيرة المدى وذات معدل بيانات مرتفع.

ومع ذلك، تتطلب استجابات الضوء المرئي والموجة المليمترية استخدام ترددات أعلى، وهي ليست كذلك تستخدم عادة في الاتصالات الخلوية. على وجه الخصوص، المسافات الطويلة والانتشار الخارجي لهذه الموجات عالية التردد لا ينصح لأن الأمواج لن تنجح في اختراق المواد الكثيفة.

من ناحية أخرى، موجة المليمتر والاستجابات للضوء المرئي لها نطاق ترددي واسع ويمكنها زيادة معدل نقل البيانات للأجهزة الداخلية . بالإضافة إلى ظهور أطياف جديدة بشكل عام لا تستخدم للتفاعلات الراديوية، حيث يمكن ايضا حل مشكلة نقص الطيف عن طريق استخدام الراديو الادراكي (CR) لتحسين الاستخدام الطيفي الجديد، كم أن عدم تجانس البنى الخلوية لشبكات الجيل الخامس يتطلب تكامل المكررات والخلايا الصغيرة، الخلايا الدقيقة والخلايا الكبيرة.

على وجه الخصوص، تعتبر فكرة الخلية الصغيرة المتنقلة أمرًا بالغ الأهمية ومكون هام من شبكة خلوية لاسلكية 5G حيث تم تطوير المفهوم للحفاظ على اتصال المستخدمين عند التنقل السريع في القطارات والمركبات عالية السرعة.

علاوة على ذلك ، يتم تثبيت الخلايا الصغيرة المتنقلة داخل مركبات متحركة للتواصل مع المستخدمين ، في حين أن وحدة MIMO الضخمة على الجزء الخارجي للمركبة للتواصل مع محطة قاعدية خارجية.

[ATTAR et al, 2022, 3]

2-1 استخدامات شبكات الجيل الخامس:

1- المجال العريض الخليوي المحسن enhanced (eMBB) Mobile Broadband:

يدعم هذا القسم الاتصالات المستقرة مع معدلات نقل عالية بشكل عام ومتوسطة بالنسبة للمستخدمين المتوضعين على حواف الخلية حيث يمكن اعتبار eMBB جزء موسع من خدمات الجيل الرابع عريضة المجال.

يتميز الاتصال بنوع خدمة eMBB بحمولة كبيرة Payload وبنموذج تنشيط فعال للجهاز بحيث يبقى الاتصال مستقر لفترة زمنية طويلة مما يسمح بجدولة الأجهزة اللاسلكية للمورد الترددي المتاح بشكل فعال بحيث لا يخصص أكثر من جهاز بشكل متزامن الى نفس المورد.

تهدف eMBB لزيادة معدل نقل البيانات وضمان موثوقية الاتصال مع معدل خطأ للرزمة Packet Error Rate (PER) من رتبة 10^{-3}.

2-اتصال الآلة الكثيف (mMTC) massive Machine Type Communication:

يدعم هذا القسم التطبيقات التي تتضمن أعداد كثيفة من التجهيزات مثل تطبيقات انترنت الأشياء IoT والتي يتم فيها تنشيط العقد بشكل دوري لإرسال رزم قصيرة ذات حمولة منخفضة.

يتميز الاتصال بنوع خدمة mMTC بأنه متقطع ويستخدم معدل ارسال منخفض وثابت في الوصلة الصاعدة Uplink.

عند لحظة زمنية معينة، تصل البيانات الى مجموعة كبيرة من أجهزة mMTC المتصلة مع المحطة القاعدية BS، عندئذ تصبح هذه الأجهزة في حالة تنشيط وتحاول ارسال البيانات الخاصة بها.

تهدف mMTC لزيادة معدل الوصول الذي يمكن دعمه بالنسبة لمورد ترددي معطى مع ضمان معدل خطأ الرزمة من رتبة 10^{-1}.

3-الاتصال عالي الموثوقية منخفض التأخير (uRLLC) ultra Reliable and Low Latency:

يدعم هذا القسم الاتصالات منخفضة التأخير ذات الحمولة المنخفضة والموثوقية العالية جدا لمجموعة التجهيزات التي يتم تنشيطها بناءً على حدث خارجي كـ الحساسات.

يتميز الاتصال بنوع خدمة uRLLC بأنه متقطع كما في mMTC ولكن لمجموعة مرسلات أقل من مجموعة المرسلات المسموم لها بالإرسال في mMTC، ويتطلب خوارزميات جدولة مختلفة تعتمد على الأولوية من حيث الموثوقية بالاشتراك مع إجرائيات الوصول العشوائي تجنبا لبقاء الموارد الترددية في حالة شاغرة idle بسبب طبيعة الحركية المتقطعة.

تهدف uRLLC لضمان موثوقية الاتصال حيث تدعم التطبيقات ذات الطبيعة الحرجة مع ضمان معدل خطأ رزمة 10^{-5} .

[PARK et al, 2017,3] ; [POPUSKI et al, 2018, 2-3].

1- الدراسات المرجعية:

2-1 دراسة مرجعية لتقنيات النفاذ المتعدد غير المتعامدة:

نظراً لصعوبة تحقيق التعامد بين الحوامل الجزئية تم البحث عن تقنية لا تحتاج إلى تعامدية حيث إنَّ تقنيات النفاذ المتعدد غير المتعامدة السابقة هي:

LDS-CDMA:

سلاسل النثر المتعامدة تخفف من أثر التَّداخل بين المستخدمين [HOSHYAR et al, 2008, 1616].

SCMA:

يتم تطبيق خوارزمية فصل عدة مستخدمين مناسبة، بحيث يتم الاستفادة من النثر الموجود ضمن كلمات الترميز المستخدمة في نظام SCMA.

[WEI et al, 2020, 1-2].

MUSA:

سلاسل النثر في تقنية النفاذ المشترك لعدة مستخدمين MUSA لا تملك خاصية الكثافة المنخفضة. بينما الرموز منخفضة الكثافة (المتبددة) تخفض تعقيد خوارزميات الكشف على مستوى الرمز، مثل Average Precision (MAP) Mean، فإن كاشف إزالة التداخل التكراري SIC على مستوى كلمة

الترميز (CW-SIC) يقلل الحاجة لاستخدام كواشف معقدة على مستوى الرمز.

[LOYKA et al, 2014,1] ; [YUAN et al, 2016, 1]

Pattern Division Multiple Access (PDMA):

يستخدم النفاذ المتعدد بتقسيم النمط PDMA أنماطاً غير متعامدة، تم تصميمها من خلال زيادة التنوع وتقليل التداخل بين المستخدمين [J ZENG, 2015, 1].

قارن البحث [MATHUR et al, 2021,1788] تقنيتي OMA، NOMA في الشكل العاشر منه أداء التقنيتين في قناة رايلي ناحية السعة Capacity حيث أعطت NOMA 11 bit/s/Hz للمستخدم القريب و 2 bit/s/Hz للمستخدم البعيد بينما أعطت تقنية OMA 2 bit/s/Hz للمستخدم القريب و 6 bit/s/Hz للمستخدم البعيد.

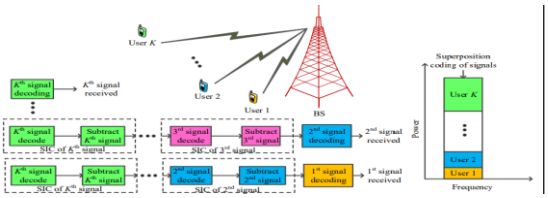
درس البحث [ZENG et al, 2017, 8] أداء تقنيتي NOMA و OMA مع استخدام الهوائيات المتعددة MIMO مع سيناريو نشر 2،3 مستخدم وخلصت النتائج في الشكل السادس منه الى معدل مجموع بقيمة متوسطة مساوية لـ 11 bps/Hz بالنسبة لـ 2 مستخدم و 10 bps/Hz بالنسبة لـ 3 مستخدم "تقنية NOMA"، بينما أعطت تقنية OMA 8.2 bps/Hz بالنسبة لـ 2 مستخدم و 7.8 bps/Hz بالنسبة لـ 3 مستخدمين.

درس البحث [GHOSH et al, 2022, 11629] أداء تقنيتي NOMA و OMA في سيناريو نشر ثلاثة مستخدمين وخلصت النتائج في الشكل 7b منه الى فعالية طيفية بمقدار 7bit/sec/Hz عند استطاعة ارسال 120watt بالنسبة لتقنية NOMA و 5bit/sec/Hz بالنسبة لتقنية OMA.

2-2 تقديم الدراسة المرجعية والنمذجة الرياضية لتقنية NOMA لتخديم أربع مستخدمين:

يكمن مبدأ NOMA في تخصيص معاملات استطاعة مختلفة في كل من أنظمة الوصلة الهابطة والوصلة الصاعدة تبعاً لاختلاف مكان استخدام إلغاء التداخل المتتابع SIC حيث يتم الاحتفاظ بعملية SIC في جانب جهاز الاستقبال في نظام NOMA للوصلة الهابطة بينما يقوم نظام NOMA للوصلة الصاعدة بتنفيذ SIC في جهاز الإرسال الخاص به.

يبين الشكل 2 تقنية NOMA في الوصلة الهابطة، بافتراض 4 مستخدمين وقناة فرعية واحدة و h4<h3<h2<h1 مما يعني أن UE4 هو المستخدم الأضعف "الأبعد" وUE1 المستخدم الأقوى "الأقرب" حيث أن h تمثل ربح القناة لكل مستخدم.



الشكل(2) نظام اتصال يعتمد تقنية NOMA [KUMARESAN et al, 2021 , 6]

يتم فك ترميز إشارة المستخدم الأبعد UE4 مباشرة دون الحاجة لاستخدام SIC حيث يتم تخصيصه بالمقدار الأكبر من الاستطاعة، بينما يتم تطبيق الغاء التداخل المتتابع SIC بواسطة UE3 الذي يخصص له مستوى متوسط من الاستطاعة لفك ترميز إشارة UE4 ثم يتم الغاؤها للحصول على البيانات الخاصة بإشاراته.

للحصول على البيانات الخاصة بإشارة المستخدم الثاني UE2 يتم بداية طرح إشارة المستخدم الرابع UE4 عن طريق تطبيق SIC ثم يعاد تشكيل الإشارتين المتبقيتين لـ UE3,UE4 ويعاد تطبيق SIC لطرح إشارة المستخدم الثالث UE3 والحصول على بيانات إشارة المستخدم الثاني UE2.

للحصول على البيانات الخاصة بإشارة المستخدم الأول UE1 يتم بداية طرح إشارة المستخدم الرابع UE4 عن طريق تطبيق SIC ثم يعاد تشكيل الإشارات لـ UE4, UE2,UE3 ويعاد تطبيق SIC لطرح إشارة المستخدم الثالث ثم يعاد تشكيل الإشارات لـ UE2,UE3 ويعاد تطبيق SIC لطرح إشارة

المستخدم الثاني UE2 والحصول على بيانات إشارة المستخدم الأول UE1 .

[ISLAM et al, 2016 ,7-8]

بفرض أن x_1, x_2, x_3, x_4 هي الإشارات المرسلة من محطة القاعدة الى المستخدمين والتي تقوم بجمع الإشارات في إشارة واحدة x عن طريق الترميز التراكبي SC وفق العلاقة الرياضية التالية:

$$x = \sqrt{P\alpha_1}x_1 + \sqrt{P\alpha_2}x_2 + \sqrt{P\alpha_3}x_3 + \sqrt{P\alpha_4}x_4 \quad \textbf{(1)}$$

حيث أن P هي الاستطاعة الكلية و $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ عبارة عن مقدار لتخصيص جزء من الاستطاعة الكلية لكل مستخدم بناء على المسافة و x_1, x_2, x_3, x_4 هي إشارة بيانات كل مستخدم كلا على حدى.

وتكون الإشارة المستقبلة عند كل مستخدم:

$$y_i = h_i x + n_i \ ; \ i = 1,2,3,4 \quad \textbf{(2)}$$

حيث أن hi هو ربح القناة بين كل مستخدم ومحطة القاعدة.

n_i الضجيج في كل قناة.

يقوم المستخدم الأبعد UE4 بفك الإشارة المستقبلة مباشرة والتعامل مع إشارات المستخدمين UE1,UE2,UE3 كإشارات تداخل وفق العلاقة الرياضية التالية:

$$y_4 = h_4 x + n_4$$
$$y_4 = h_4(\sqrt{P\alpha_1}x_1 + \sqrt{P\alpha_2}x_2 + \sqrt{P\alpha_3}x_3 + \sqrt{P\alpha_4}x_4) + n_4$$
$$y_4 = \sqrt{P\alpha_1}x_1h_4 + \sqrt{P\alpha_2}x_2h_4 + \sqrt{P\alpha_3}x_3h_4 + \sqrt{P\alpha_4}x_4h_4 + n_4 \quad \textbf{(3)}$$

وتكون نسبة الإشارة الى الضجيج والتداخل لدى المستخدم الرابع UE4:

$$SINR_4 = \frac{|h_4|^2 P\alpha_4}{|h_4|^2 P\alpha_1 + |h_4|^2 P\alpha_2 + |h_4|^2 P\alpha_3 + \sigma^2} \quad \textbf{(4)}$$

معدل النقل لدى المستخدم الرابع UE4:

$$R_{noma4} = B\, log_2(1 + SINR_4) \quad \textbf{(5)}$$

يقوم المستخدم الثالث UE3 بالتعامل مع الإشارة المستقبلة بطريقة مختلفة عن المستخدم الابعد بسبب الحاجة الى ازالة بيانات المشترك الرابع UE4 للحصول على بياناته وفق التالي:

$$y_3 = h_3 x + n_3$$
$$y_3 = h_3(\sqrt{P\alpha_1}x_1 + \sqrt{P\alpha_2}x_2 + \sqrt{P\alpha_3}x_3) + n_3$$
$$y_3 = \sqrt{P\alpha_1}x_1h_3 + \sqrt{P\alpha_2}x_2h_3 + \sqrt{P\alpha_3}x_3h_3 + \sqrt{P\alpha_4}x_4h_3 + n_3 \quad \textbf{(6)}$$

يقوم المستخدم UE3 بتطبيق SIC لإزالة بيانات إشارة المستخدم الرابع UE4 واستخراج بيانات الإشارة الخاصة به فتكون نسبة الإشارة الى الضجيج والتداخل لدى المستخدم الثالث:

$$SINR_3 = \frac{|h_3|^2 P\alpha_3}{|h_3|^2 P\alpha_1 + |h_3|^2 P\alpha_2 + \sigma^2} \quad \textbf{(7)}$$

ويكون معدل النقل لدى المستخدم الثالث UE3:

$$R_{noma3} = B \log_2(1 + SINR_3) \quad \textbf{(8)}$$

يعمل المستخدم الثاني UE2 على إزالة بيانات إشارتي المستخدمين الثالث والرابعUE4 UE3, للحصول على بياناته وفق التالي:

$$y_2 = h_2 x + n_2$$
$$y_2 = h_2(\sqrt{P\alpha_1}x_1 + \sqrt{P\alpha_2}x_2 + \sqrt{P\alpha_3}x_3 + \sqrt{P\alpha_4}x_4) + n_2$$
$$y_2 = \sqrt{P\alpha_1}x_1h_2 + \sqrt{P\alpha_2}x_2h_2 + \sqrt{P\alpha_3}x_3h_2 + \sqrt{P\alpha_4}x_4h_2 + n_2 \quad \textbf{(9)}$$

يقوم المستخدم UE2 بتطبيق SIC لإزالة بيانات إشارة المستخدم الثالث والرابع UE3,UE3 واستخراج بيانات الإشارة الخاصة به فتكون نسبة الإشارة الى الضجيج والتداخل لدى المستخدم الثاني:

$$SINR_2 = \frac{|h_2|^2 P\alpha_2}{|h_2|^2 P\alpha_1 + \sigma^2} \quad \textbf{(10)}$$

ويكون معدل النقل لدى المستخدم الثاني UE2:

$$R_{noma2} = B \log_2(1 + SINR_2) \quad \textbf{(11)}$$

يقوم المستخدم UE1 بتطبيق SIC لإزالة بيانات إشارة المستخدم الثاني والثالث والرابع UE2,UE3,UE4, واستخراج

بيانات الإشارة الخاصة به فتكون نسبة الإشارة الى الضجيج والتداخل لدى المستخدم الأول UE1:

$$SINR_1 = \frac{|h_1|^2 P\alpha_1}{\sigma^2} \quad \textbf{(12)}$$

فتكون السعة الكلية هي حاصل جمع المعدلات الثلاثة:

$$R_{noma} = R_{noma1} + R_{noma2} + R_{noma3} + R_{noma4} \quad \textbf{(13)}$$

بالنسبة لتقنية OMA فإن معدل النقل لكل مستخدم يُعطى بالعلاقة التالية:

$$Roma_1 = \frac{B}{4}\log_2(1 + \frac{|h_1|^2 P\alpha_1}{\sigma^2})$$
$$Roma_2 = \frac{B}{4}\log_2(1 + \frac{|h_2|^2 P\alpha_2}{\sigma^2}) \quad \textbf{(14)}$$
$$Roma_3 = \frac{B}{4} log_2(1 + \frac{|h_3|^2 P\alpha_3}{\sigma^2})$$
$$Roma_4 = \frac{B}{4} log_2(1 + \frac{|h_4|^2 P\alpha_4}{\sigma^2})$$

فتكون السعة الكلية هي حاصل جمع المعدلات الثلاثة:

$$R_{oma} = R_{oma1} + R_{oma2} + R_{oma3} + R_{oma4} \quad \textbf{(15)}$$

[ALGHASMARI et al ,127-128]

- تم استنتاج النمذجة الرياضية استنادا للمرجعين: [ALGHASMARI et al,127-128]; (ISLAM et al, 2016 ,7-8].

2- مواد البحث وطرائقه:

تم في هذا البحث دراسة أداء تقنيتيOMA و NOMA بالنسبة لـ 2,4 مستخدم واستنتاج النمذجة الرياضية مع محاكاة سيناريو الاتصال باستخدام برمجيات MATLAB.

3- النتائج والمناقشة:

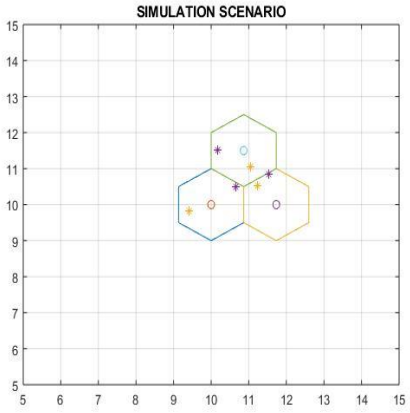
1-4 محاكاة تقنيتي OMA, NOMA في سيناريو نشر 2,4 مستخدم باستخدام برمجيات MATLAB:

تم دراسة تقنيتي OMA,NOMA ومقارنة كل من متوسط سعة القناة بالنسبة لعدد الخلايا و متوسط سعة القناة بالنسبة لإستطاعة الإرسال و سعة طرفية المستخدمين بالنسبة لاستطاعة الإرسال .

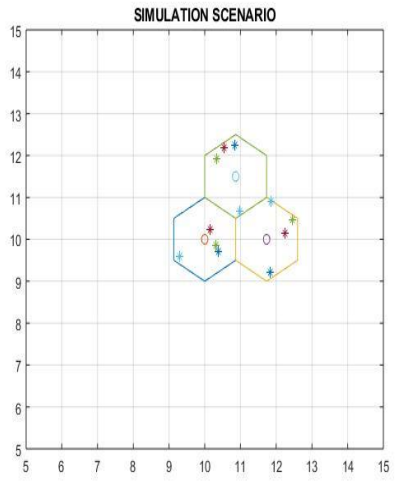
الجدول (1) محددات محاكاة OMA,NOMA باعتماد برمجيات MATLAB:

البارمتر	القيمة
عدد الخلايا	3
عدد المستخدمين	2،4
قطر الخلية	1000m
استطاعة الإرسال	30 dBm
نموذج القناة	Rayleigh channel
معاملات تخصيص الاستطاعة	$\alpha_1 = 0.1, \alpha_2 = 0.15, \alpha_3 = 0.25, \alpha_4 = 0.5$
المسافة بين المستخدمين والمحطة القاعدية	$d_1 = 300\text{m}, d_2 = 500\text{m}, d_3 = 700\text{m}, d_4 = 900\text{m}$

يبين الشكلان (3) و (4) سيناريوي النشر ل 2 مستخدم واربع مستخدمين في نظام اتصالات ثلاثي الخلايا والتي تم إجراء الدراسة عليه:



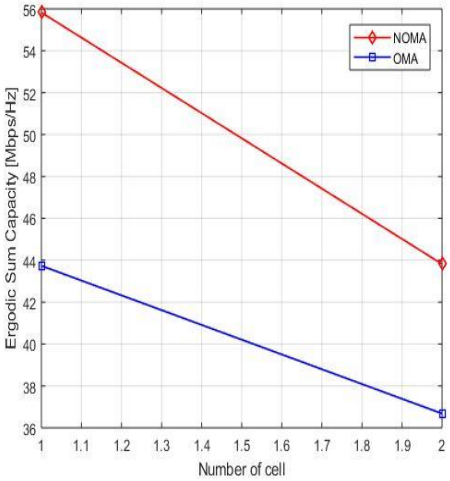
الشكل(3) سيناريو النشر حالة 2 مستخدم



الشكل (4) سيناريو النشر حالة 4 مستخدمين

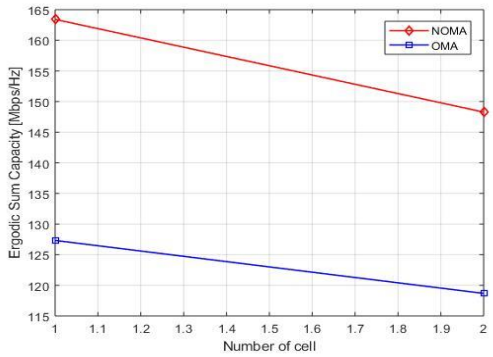
4-1-1 متوسط سعة القناة بالنسبة لعدد الخلايا:

يبين الشكل (5) متوسط سعة القناة بالنسبة لعدد الخلايا حالة 2 مستخدم حيث يتبين أن تقنية NOMA تعطي سعة إجمالية أعلى تتراوح بين Mbps/Hz 44-56 بمجال Range مساو لـ 12 Mbps/Hz مقارنة بتقنية OMA والتي أعطت سعة إجمالية تتراوح بين Mbps/Hz 36-44 بمجال Range مساو لـ 8 Mbps/Hz ويعود انخفاض السعة مع زيادة عدد الخلايا الى زيادة التداخل.



الشكل (5) متوسط سعة القناة بالنسبة لعدد الخلايا حالة 2 مستخدم

يبين الشكل (6) متوسط سعة القناة بالنسبة لعدد الخلايا حالة 4 مستخدمين حيث يتبين أن تقنية NOMA تعطي سعة إجمالية اعلى تتراوح بين Mbps/Hz 148-164 بمجال Range مساو لـ 16 Mbps/Hz مقارنة بتقنية OMA والتي أعطت سعة إجمالية تتراوح بين Mbps/Hz 119-127 بمجال Range مساو لـ ويعود انخفاض السعة مع زيادة عدد الخلايا الى زيادة التداخل 8 Mbps/Hz .

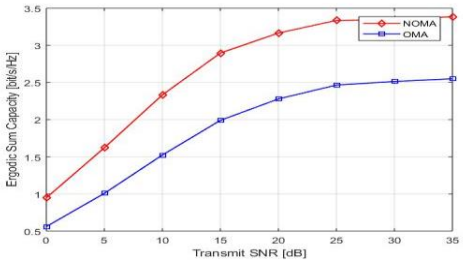


الشكل (6) متوسط سعة القناة بالنسبة لعدد الخلايا حالة 4 مستخدمين

4-1-2 متوسط سعة القناة بالنسبة لإستطاعة الإرسال:

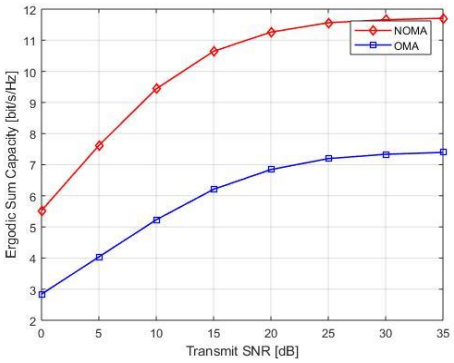
يوضح الشكل (7) السعة الإجمالية المتوقعة لنظام الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA) ونظام الوصول المتعدد المتعامد (OMA) كدالة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) للإرسال. السعة الإجمالية المتوقعة هي أقصى معدل بيانات قابل للتحقيق يمكن إرساله عبر القناة. يمكن ملاحظة أن السعة الإجمالية المتوقعة لنظام الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA) أعلى من تلك الخاصة بنظام الوصول المتعدد المتعامد (OMA) في جميع قيم نسبة الإشارة إلى الضوضاء. وذلك لأن نظام الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA) يسمح لمستخدمين متعددين بالإرسال في وقت واحد على نفس قناة التردد، بينما يتطلب نظام الوصول المتعدد المتعامد (OMA) أن ينقل كل مستخدم على قناة منفصلة. يرجع هذا الاختلاف في السعة الإجمالية المتوقعة بين أنظمة الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA) والوصول المتعدد المتعامد

(OMA) إلى حقيقة أن نظام الوصول المتعدد غير المتعامد (NOMA) يستغل تنوع المستخدمين المتعددين، مما يسمح لمستخدمين متعددين بالإرسال في وقت واحد على نفس قناة التردد دون التداخل مع بعضهم البعض. على النقيض من ذلك، لا يستغل نظام الوصول المتعدد المتعامد (OMA) تنوع المستخدمين المتعددين، وبالتالي، يجب أن ينقل كل مستخدم على قناة منفصلة. حيث يتبين أن تقنية NOMA أعطت سعة إجمالية تتراوح بين 1-3.4 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 2.4 bit/s/Hz مقارنة بتقنية OMA والتي أعطت سعة إجمالية تتراوح بين 0.5-2.5 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 2 bit/s/Hz.



الشكل (7) متوسط سعة القناة كدالة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) للإرسال حالة 2 مستخدم

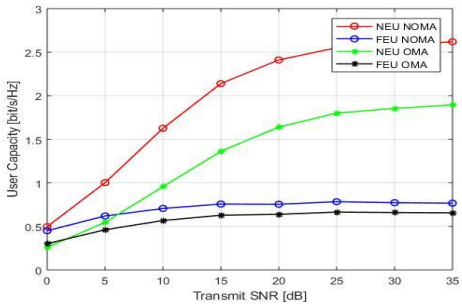
يبين الشكل (8) متوسط سعة القناة كدالة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) للإرسال حالة 4 مستخدم حيث يتبين أن تقنية NOMA تعطي سعة إجمالية تتراوح بين 5.5-11.5 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 6 bit/s/Hz مقارنة بتقنية OMA والتي أعطت سعة إجمالية تتراوح بين 3-7.5 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 4.5 bit/s/Hz.



الشكل (8) متوسط سعة القناة كدالة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) للإرسال حالة 4 مستخدمين

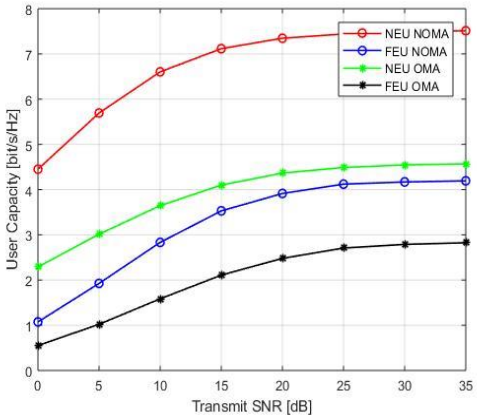
4-1-3 سعة طرفية المستخدمين بالنسبة لاستطاعة الإرسال:

يبين الشكل (9) سعة طرفية المستخدمين كدالة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) للإرسال حالة 2 مستخدم حيث يتبين أن تقنية NOMA تعطي سعة إجمالية تتراوح بين 0.5-2.7 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 2.2 bit/s/Hz للمستخدم القريب Near NOMA وسعة إجمالية تتراوح بين 0.5-0.8 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 0.3 bit/s/Hz للمستخدم البعيد Far NOMA مقارنة بتقنية OMA والتي أعطت سعة إجمالية تتراوح بين 0.3-1.9 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 1.3 bit/s/Hz للمستخدم القريب Near OMA و وسعة إجمالية تتراوح بين 0.3-0.6 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 0.3 bit/s/Hz للمستخدم البعيد Far OMA.



الشكل (9) متوسط سعة القناة بالنسبة لنسبة الإشارة الى الضجيج حالة 2 مستخدم

يبين الشكل (10) سعة طرفية المستخدمين كدالة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) للإرسال حالة 4 مستخدمين حيث يتبين أن تقنية NOMA تعطي سعة إجمالية تتراوح بين 4.5-7.5 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 3.5 bit/s/Hz للمستخدم القريب Near NOMA وسعة إجمالية تتراوح بين 1.1-4.2 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 3.1bit/s/Hz للمستخدم البعيد Far NOMA مقارنة بتقنية OMA والتي أعطت سعة إجمالية تتراوح بين 2.2-4.5 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 2.3 bit/s/Hz للمستخدم القريب Near OMA و وسعة إجمالية تتراوح بين 0.5-2.8 bit/s/Hz بمجال Range مساو لـ 2.3 bit/s/Hz للمستخدم البعيد Far OMA.



الشكل (10) متوسط سعة القناة بالنسبة لاستطاعة الإرسال حالة 4 مستخدمين

4-2 مناقشة النتائج النهائية التي تم الحصول عليها باعتماد برمجيات المحاكاة MATLAB:

أظهرت النتائج تفوق تقنية NOMA على تقنية OMA من ناحية متوسط سعة القناة بالنسبة لعدد الخلايا بمقدار 4Mbps/Hz بالنسبة لنشر 2 مستخدم في كل خلية و 8Mbps/Hz بالنسبة نشر 4 مستخدمين في كل خلية، كما وضحت تحسن متوسط سعة القناة كدالة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) للإرسال بمقدار 0.4 bit/s/Hz في سيناريو نشر 2 مستخدم و 1.5 bit/s/Hz في سيناريو نشر 4 مستخدمين في كل خلية.

أظهرت النتائج تفوق تقنية NOMA على تقنية OMA من ناحية سعة طرفين المستخدمين، حيث أعطت 2.2bit/s/Hz للمستخدم القريب و 0.3 bit/s/Hz للمستخدم البعيد مقارنة بتقنية OMA والتي أعطت 1.3bit/s/Hz للمستخدم القريب و 0.3bit/s/Hz للمستخدم البعيد في سيناريو نشر 2 مستخدم.

بالنسبة لسيناريو نشر 4 مستخدمين، تفوقت تقنية NOMA على تقنية OMA حيث أعطت تقنية NOMA 3.5bit/s/Hz للمستخدم القريب مقارنة ب 2.3bit/s/Hz في تقنية OMA، و 3.1bit/s/Hz للمستخدم البعيد في تقنية NOMA مقارنة ب 2.3bit/s/Hz في تقنية OMA.

4- الاستنتاجات:

تفوق تقنية NOMA ناحية السعة Capacity بالنسبة لتقنية OMA.

إمكانية تطبيق تقنيتي NOMA و OMA بشكل ديناميكي لاستثمار الموارد بالشكل الأمثل.

تلاؤم تقنية NOMA مع استخدامات شبكات الجيل الخامس ناحية تخديم المستخدمين بشكل عادل.

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق وفق رقم التمويل (501100020595).

(PDMA) for Cellular Future Radio Access,"2015.doi: 10.1109/WCSP.2015.7341229.
[12]. Harshita Mathur & T. Deepa, "A Survey on Advanced Multiple Access Techniques for 5G and Beyond Wireless Communications", springer, 18p, 2021. https://doi.org/10.1007/s11277-021-08115-w
[13]. Ming Zeng, Animesh Yadav, Octavia A. Dobre, Georgios I. Tsiropoulos and H. Vincent Poor, 'Capacity Comparison between MIMO-NOMA and MIMO-OMA with Multiple Users in a Cluster', arxiv, 18p, 2017. doi: 10.1109/JSAC.2017.272587
[14] Kumaresan.S Tan.C Ng.Y, "Deep Neural Network (DNN) for Efficient User Clustering and Power Allocation in Downlink Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) 5G Networks",20p, 2021. https://doi.org/10.3390/sym13081507
[15] ISLAM .S . ZENG .M . DOBRE .O .KWAK .k, "Power-Domain Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) in 5G Systems: Potentials and Challenges", 41p,2016.
doi: 10.1109/COMST.2016.2621116.

[16]. ALGHASMARI .W . NASSEF .L, "Power Allocation Evaluation for Downlink Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA)", IJACSA, Vol. 11, pp. 126-132,2020. doi:10.14569/IJACSA.2020.0110417

[17]. J. GHOSH, I. -H. RA, S. SINGH, H. HACI, K. A. AL-UTAIBI AND S. M. SAIT, "On the Comparison of Optimal NOMA and OMA in a Paradigm Shift of Emerging Technologies," in IEEE Access, vol. 10, pp. 11616-11632, 2022,
doi: 10.1109/ACCESS.2022.3146349

References:

[1] ISLAM.S . ZENG .M . DOBRE .O ., "Non-Orthogonal Multiple KWAK.K Access (NOMA): How It Meets 5G and Beyond",38p, 2019. https://doi.org/10.48550/arXiv.1907.10001
[2] ANCANS . G . STAFECKA .A . BOBROVS . V . ANCANS . A . CAIKO . J, "Analysis Of Characteristics And Requirements For 5G Mobile Communication Systems", Latvian Journal Of Physics And Technical Sciences, Vol. 4, pp. 69-78 , 2017. DOI: 10.1515/lpts-2017-0028
[3] CARUGI . M , "Key features and requirements of 5G/IMT-2020 networks", ITU Arab Forum on Emerging Technologies, 30p, 2018.
[4] ATTAR.H ISSA.H ABABNEH.J ABBASI.M SOLYMAN.A KHOSRAVI.M AGIEB.R. Loyka and F. Gagnon, "5G System Overview for Ongoing Smart Applications: Structure, Requirements, and Specifications" , Hindawi, 11p, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/2476841
[5]. POPOVSKI . P . TRILLINGSGAARD . K . DURISI . G, "5G Wireless Network Slicing for eMBB, URLLC, and mMTC: A Communication-Theoretic View", Researchgate, 30p, 2018.
doi: 10.1109/ACCESS.2018.2872781
[6]. JI . H . PARK . S . YEO . J . KIM . Y . LEE . J . SHIM .B, "Introduction to Ultra Reliable and Low Latency Communications in 5G" , arxiv, 15p, 2017.
[7] R. Hoshyar, F. P. Wathan and R. Tafazolli, "Novel Low-density signature for synchronous CDMA system over AWGN channel, "IEEE Transactions on signal processing, vol . 56, no.4 , PP. 1616-1626,2008 doi:10.1109/TSP.2007.909320.
[8]. F. Wei and W. Chen, "Low Complexity Iterative Receiver Design for Sparse Code Multiple Access, "IEEE Transactions on Communications, vol. 65, no. 2, PP. 621-634,2020.
[9] Z. Yuan, G. Yu, W. Li, Y. Yuan, X. Wang and J. Xu, "Multi-User Shared Access for internet of things, "in 2016 IEEE 83rd Vehicular Technology Conference (VTC Spring) , 2016. doi: 10.1109/VTCSpring.2016.7504361.
[10] S. Loyka and F. Gagnon, "Performance analysis of the V-BLAST algorithm: An analytical approach, "IEEE Transactions on wireless communicatios, vol. 3, no. 4, pp. 1326-1337, 2014. doi: 10.1109/TWC.2004.830853.
[11] Jie Zeng, Bing Li, Xin Su, Liping Rong, Rongrong Xing , "Pattern Division Multiple Access